



Facultad de Filosofía y Letras

Máster en Recursos Territoriales y Estrategias de Ordenación

Análisis y Estudio del Impacto Territorial de los Parques Eólicos en Cantabria Bajo un Entorno  
SIG

Analysis and Study of the Territorial Impact of Wind Farms in Cantabria Under a Gis  
Environment

Autor/a: Álvaro Cuero Aparicio

Directora: Olga de Cos Guerra

Codirector: Francisco Javier Balbás García

Curso 2017 / 2018

## Índice

### Abstract / Resumen

1. Introducción: Fines y Objetivos
2. Contexto energético y legislativo en España y Cantabria. Utilidad de los SIG para la toma de decisiones en materia de Ordenación del Territorio.
  - 2.1. Situación actual de la energía eólica en España y en Cantabria
  - 2.2. El mix energético
  - 2.3. Normativa y planes energéticos vigentes en España y Cantabria
    - 2.3.1. Normativa vigente en España
    - 2.3.2. Normativa vigente en Cantabria
  - 2.4. El papel de los SIG como herramienta para la toma de decisiones en la localización de infraestructuras en el territorio
3. Fuentes estadísticas y cartográficas
  - 3.1. Fuentes de carácter estadístico
  - 3.2. Fuentes de carácter cartográfico
4. Metodología
  - 4.1. Metodología general
  - 4.2. Metodología del Proyecto SIG
  - 4.3. Metodología de la Evaluación Multicriterio
5. Análisis de los resultados de la Evaluación Multicriterio
6. Posibilidades de los SIG para la realización de un estudio de detalle en materia eólica
7. Conclusiones
8. Bibliografía
9. Índice de figuras, mapas y tablas

## **Resumen**

Este Trabajo Fin de Master se centra en la localización idónea de un parque eólico en Cantabria generando la menor afección posible tanto al territorio como a la población. Se ha planteado un estudio de carácter multiescalar, en el que mediante la aplicación de la Evaluación Multicriterio se ha generado una malla de adecuación para la instalación de la infraestructura para el posterior estudio de una de las áreas con mayor aptitud para la localización del parque. El estudio se ha desarrollado bajo un entorno SIG, herramienta que permite trabajar de manera conjunta con datos de carácter estadístico y cartográfico. De igual modo, se pretende mostrar la potencialidad y la aplicabilidad de los SIG para la toma de decisiones en materia de Ordenación del Territorio.

Palabras clave: SIG, Evaluación Multicriterio, Equidad Espacial, Parque Eólico, Mix Energético, Ordenación del Territorio.

## **Abstract**

This Master's Thesis focuses on the ideal location of a wind farm in Cantabria, generating the least possible impact on both the territory and the population. A multiscalar study has been proposed, in which through the application of the Multicriteria Evaluation, an adequacy mesh has been generated for the installation of the infrastructure for the subsequent study of one of the areas with the greatest aptitude for locating the park. The study has been developed under a GIS environment, a tool that allows working together with statistical and cartographic data. Similarly, it is intended to show the potential and applicability of GIS for decision making in matters of Territorial Planning.

Key words: GIS, Multicriteria Evaluation, Space Equity, Wind Farm, Energy Mix, Territorial Planning.

## 1. Introducción : Fines y objetivos

El presente estudio se enmarca dentro de los Trabajos Fin de Máster (TFM) del Máster Interuniversitario de Recursos Territoriales y Estrategias de Ordenación, impartido entre la Universidad de Cantabria y la Universidad de Oviedo.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten identificar áreas de idoneidad para la instalación y construcción de infraestructuras, como son los parques eólicos, en las que la influencia y afección sobre el entorno sea la menor posible, y este es precisamente el principal objetivo del TFM aquí presentado.

Entre las ventajas de los SIG está la posibilidad de aunar información de carácter cartográfico y estadístico. Esto permite tener en un mismo proyecto información muy variada, que da muchas posibilidades. Algunos ejemplos de estos tipos de información son la población y la localización y caracterización de los municipios. Al unir estos datos los SIG permiten el estudio de un determinado área de manera muy precisa y desde varios puntos de vista. Estas posibilidades otorgan a los SIG una gran potencialidad para las decisiones de carácter objetivo sobre el territorio.

Este estudio tiene un carácter multiescalar; el ámbito de estudio más amplio es Cantabria, que es donde se plantea la identificación de áreas potencialmente aptas para la localización de parques eólicos. Además de abordar el objetivo principal se realiza un estudio a escala de detalle, sobre un área de menores dimensiones, generándose un proyecto específico de mayor profundidad, que equivaldría a la extensión de un parque eólico.

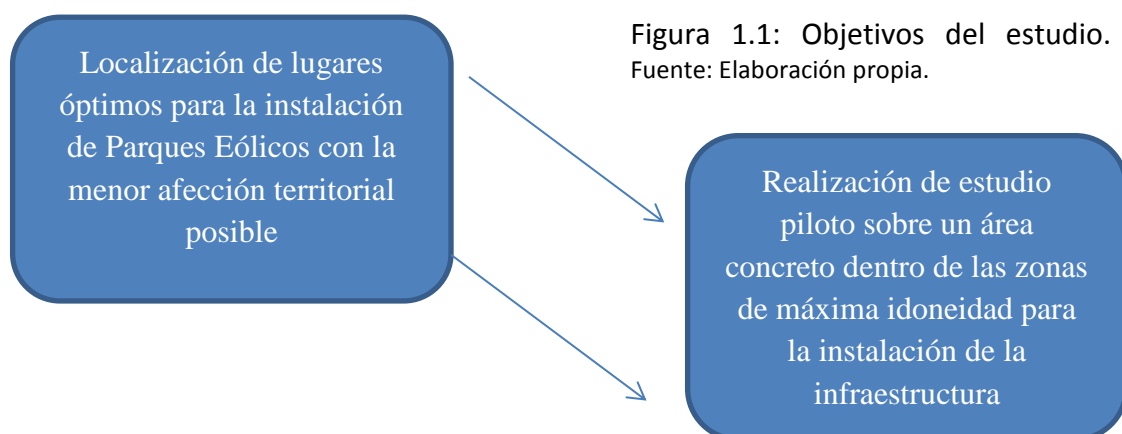


Figura 1.1: Objetivos del estudio.  
Fuente: Elaboración propia.

Los estudios de carácter territorial en la actualidad están en auge. La mayor concienciación y un interés creciente en la temática de la conservación y protección del medioambiente exigen cada vez una mayor precisión y rigurosidad en este tipo de estudios, lo que de manera paralela genera la necesidad de una legislación que regule y salvaguarde estos aspectos.

En el TFM se pueden identificar varias materias propias de la Geografía, que además están representadas en distintas asignaturas cursadas en el Máster en el que se encuadra el trabajo:

- “Diseño de un SIG Aplicado” representa la vida de un proyecto, desde que surge la idea hasta que se ejecuta dicho estudio. En el estudio llevado a cabo puede apreciarse una aplicación real de los SIG en la toma de decisiones; sin embargo, para que un proyecto SIG tenga sentido es necesario un diseño previo, una organización interna y una serie de datos ligados a la cartografía.
- Para obtener los datos necesarios para poder desarrollar el estudio de manera satisfactoria “Fuentes de Datos Territoriales” aporta algunas de las claves en cuanto a las búsquedas y a las fuentes más fiables y precisas tanto para estudios de carácter cartográfico como estadístico.
- “Espacio, Naturaleza, Territorio y Paisaje” aporta un punto de vista paisajístico y medioambiental, de especial importancia en este TFM en el que se van a identificar áreas potenciales para la instalación parques eólicos, con todo lo que ello conlleva, no solo desde el punto de vista social, sino especialmente desde la perspectiva que esta asignatura señala, el paisaje, el medioambiente y, en definitiva, el territorio.
- “Ordenación y Desarrollo Territorial Sostenible en los Espacios Rurales” o “La Ordenación del Litoral Cantábrico” dan algunas claves en materia de Ordenación del Territorio, ámbito temático con el que se enmarca la línea del TFM.

## **2. Contexto energético y legislativo en España y Cantabria. Utilidad de los SIG para la toma de decisiones en materia de Ordenación del Territorio.**

El marco teórico de este TFM tiene una estructura en la que se compara Cantabria y España. En primer lugar se contextualiza la situación energética y la eólica en particular para los casos de España y de Cantabria. El concepto “mix energético” es muy importante en el desarrollo de este estudio, por lo que también tiene un tratamiento individualizado en los casos estudiados.

Además, debido a la expansión de estos espacios energéticos y de infraestructuras eólicas, se ha desarrollado un marco normativo y legislativo que se encarga de regular los usos, actividades y construcciones en estas áreas. Se puede apreciar una jerarquía y dos niveles, a nivel nacional y a nivel autonómico.

También se responde aquí a la pregunta de cómo pueden ser utilizados los Sistemas de Información Geográfica para la toma de decisiones para localizar este tipo de infraestructuras, introduciéndose algunos conceptos como equipamientos fóbicos o equidad espacial.

### **2.1 Situación actual de la energía eólica en España y en Cantabria**

En España hay instalados desde enero de 2011 más de 880 parques eólicos, con una potencia acumulada de 20.676 megavatios (MW), lo que le convierte en el tercer país en potencia instalada, tan solo por detrás de Estados Unidos y Alemania (Deloitte, 2009). En el año 2010 la potencia instalada fue 1.516 MW, lo que supuso un crecimiento anual de casi el 8% respecto al año 2009.

Sin embargo, en el año 2017 la energía eólica ha sido el segundo proveedor del sistema eléctrico. Los 23 Gigavatios (GW) eólicos han producido más de 47 Teravatios Hora (TWh), lo que supuso aproximadamente un 20% del total de la electricidad consumida (Red Eléctrica de España, 2017).

La mitad de los megavatios instalados corresponden a cuotas fijadas para los años 2011 y 2012, por lo que la tendencia de crecimiento anual es superior a la fijada por los objetivos del Plan de Energías Renovables de 20.155 MW en 2010.

En el año 2010 la generación eólica en España llegó a 42.702 Gigavatio hora (GWh), esto supone un 16,4% del total de la demanda eléctrica. España no es solo uno de los países punteros en cuanto al desarrollo per cápita, sino que el sector va a prolongar su crecimiento, debido a que la energía eólica se afianza como una tecnología clave en la consecución de los objetivos del Plan de Energías Renovables 2011-2020, según los cuales la energía eólica terrestre instalada, (35.000 MW) en el año 2020 supondrá un 55% del mix energético renovable. No obstante la realidad es otra, ya que estamos casi en 2019 y no se superan los 25.000 MW.

En la actualidad existen más de 20.000 aerogeneradores instalados en España, repartidos en más de 1.000 parques eólicos. El pasado diciembre de 2017 se registró una producción de 330 GWh, record de producción eólica, colocando a la energía eólica como la primera tecnología en el mix de generación, con una cobertura de la demanda de electricidad del 47% (Red Eléctrica Española, 2018)

En el caso de Cantabria, el consumo energético ha ido aumentando de la mano del crecimiento económico y la expansión demográfica. Se debe tener en cuenta una particularidad de la comunidad, y es que la demanda de energía crece más rápido que el producto interior bruto de la comunidad, por lo que necesita consumir de manera proporcional más energía que la media española para conseguir el mismo mallo añadido (Plan de Sostenibilidad Energética de Cantabria 2014-2020, 2014).

## **2.2 El mix energético**

El mix energético es la combinación de las diferentes fuentes de generación de energía que cubren el suministro eléctrico de un país (Plan de Energías Renovables 2011-2020, 2010).

La contribución de la energía eólica al mix energético español figura como uno de los objetivos del Plan de Energías Renovables 2011-2020, teniéndose previsto un peso del 55% de la misma para el año 2020.

El viento ha sido durante los meses de diciembre, enero y febrero de 2018 la principal fuente de electricidad según los datos registrados por el sistema de Red Eléctrica de España, además de ser la energía que más kilovatios ha generado.

Según los datos publicados por Red Eléctrica de España, el viento produjo en el mes de diciembre de 2017 el 24,3% de todos los kilovatios que generó el parque eléctrico nacional. En enero, generó el 24,7% de la electricidad que produjo España y en febrero, el 22,5% (Energías Renovables, 2018).

Según los datos del operador (REE), "la demanda peninsular de energía eléctrica se estima en 21.305 GWh, un 7% superior a la registrada en el mismo mes del año anterior" (Europa Press, 2018). Red Eléctrica de España matiza: "si se tienen en cuenta los efectos del calendario y las temperaturas, la demanda peninsular de energía eléctrica ha crecido un 3,7% con respecto a febrero de 2017". En febrero, las fuentes renovables de energía -el agua, el Sol, el viento, la biomasa, las olas- han producido el 38,5% de los kilovatios hora generados en España. Las fuentes fósiles de energía -el carbón, el gas, el petróleo y derivados- han generado el 37,4% de la electricidad. De las centrales nucleares ha salido el 22% de la producción eléctrica. España ha generado con residuos un 1,3% de su electricidad. Y un 0,8% es asignado al bombeo. El mix eléctrico nacional del mes de enero del año 2018, según REE." (Energías Renovables, 2018).

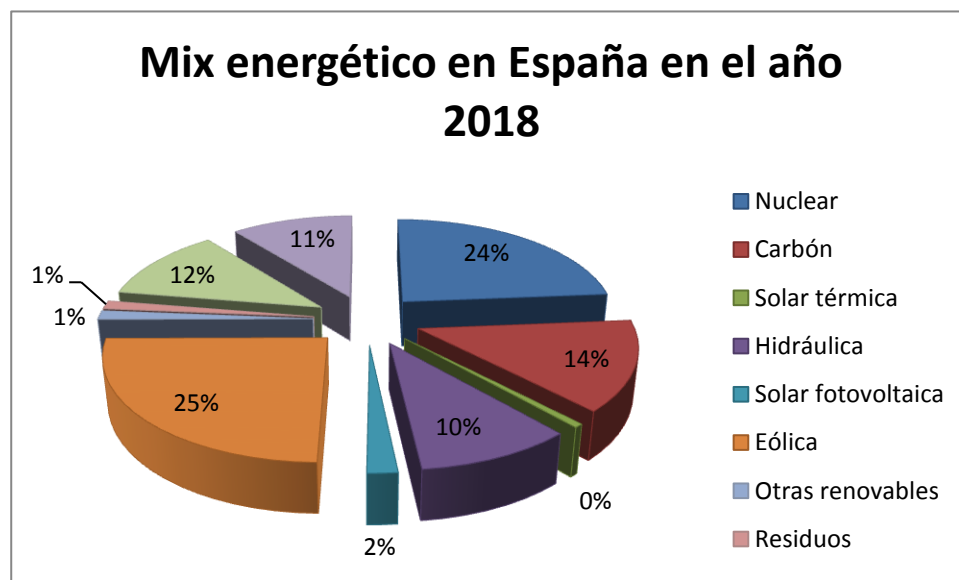


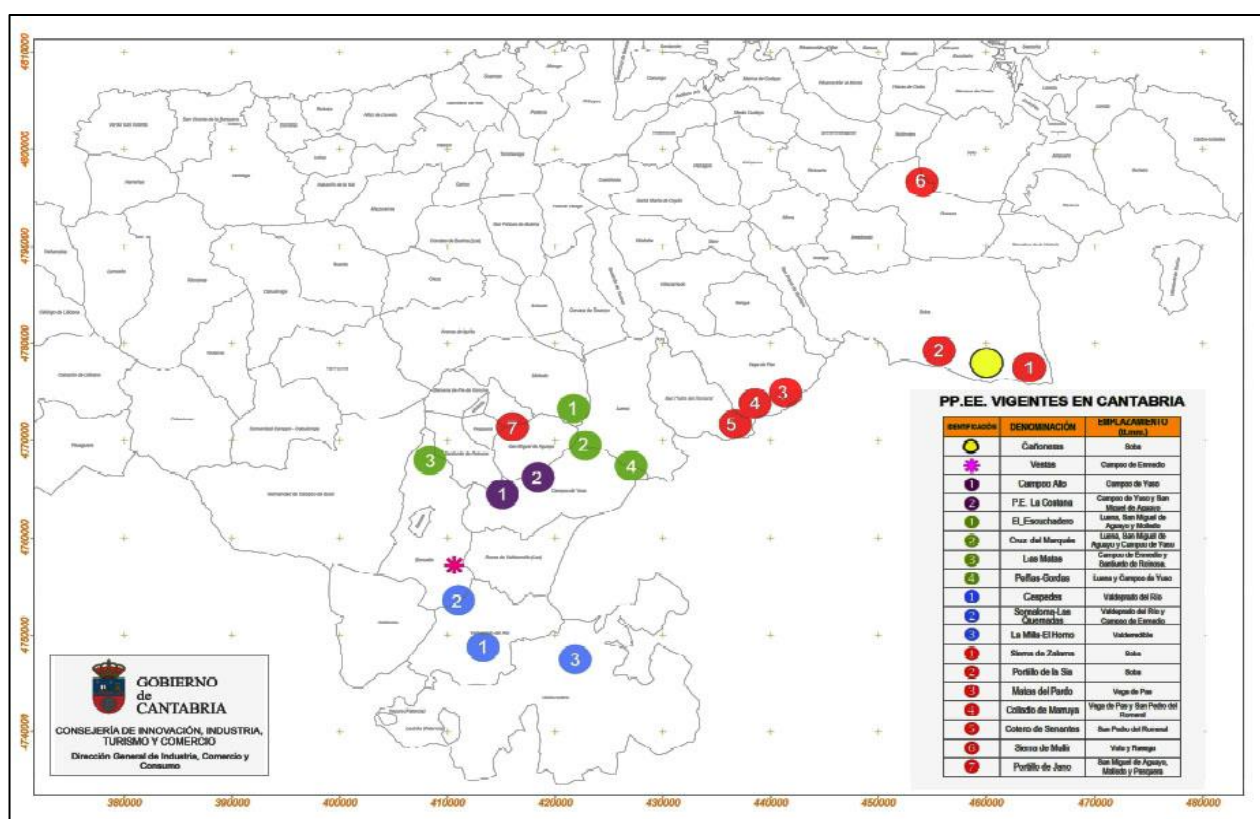
Figura 2.1: Mix eléctrico España enero 2018.  
Fuente: Red Eléctrica Española, 2018.



Mientras que la situación eólica en España es favorable e invita al optimismo, la situación en Cantabria es contraria.

La potencia instalada es de 38 megavatios, lo que supone un 0,17% del total de España, que dispone de 23.026 MW. Estos 38 MW se corresponden con los parques de Cañoneras I y II de 32,3 MW que se encuentran en la cumbre del puerto de los Tornos, perteneciente al municipio de Soba y a los molinos experimentales de Vestas, de 6 MW, localizados en Campoo de En medio.

En el Mapa 2.1 se muestran los parques eólicos existentes en la actualidad y los que se encuentran en tramitación.



Mapa 2.1: Parques Eólicos vigentes en Cantabria.

Fuente: Plataforma para la defensa de los valles del sur de Cantabria.  
<http://surdecantabrianatural.blogspot.com/2015/10/comunicado-rueda-de-prensa-01-10-2015.html>

En la actualidad se encuentran casi 200 megavatios de energía en tramitación, entre los que se encuentra un proyecto en Quintanilla de 28 megavatios. Además de otros dos parques que contarían con 43,4 megavatios entre los presentados en el Mapa 2.1. Sin embargo, Cantabria cuenta con algunos aspectos a su favor, el viento y la evacuación eléctrica. En otras comunidades se ha producido una saturación de líneas

eólicas de evacuación que en Cantabria no se ha llegado a experimentar (El Diario Montañés, 2018).

### **2.3 Normativa y planes energéticos vigentes en España y Cantabria**

El marco legal vigente está compuesto por un conjunto de leyes y decretos en diferentes áreas de la actividad, si bien la legislación en materia eólica presenta dos niveles, a nivel nacional y a nivel autonómico para Cantabria. Entre ambos entes legislativos se aprecian diferencias en cuanto al carácter, los objetivos y el tratamiento de los espacios destinados a la producción energética y en concreto a los parques eólicos.

#### **2.3.1 Normativa vigente para España.**

En el caso de España, se encuentran varias leyes de especial importancia en materia energética. A continuación se muestran algunas de las leyes con mayor peso en materia de Ordenación del Territorio, siempre teniendo en cuenta la sostenibilidad ambiental, de ahí su marcado carácter conservacionista.

La Ley de Prevención y Evaluación Ambiental N° 16.466, que fecha del 26 de enero de 1994, junto con el Decreto reglamentario 349/005 del 21 de septiembre de 2005, que reglamentan la evaluación de impacto ambiental y las autorizaciones ambientales.

La Ley General de Protección del Ambiente, N° 17.283, del 28 de noviembre del año 2000 establece otra serie de disposiciones que complementan a la Ley de Prevención y Evaluación Ambiental y al Decreto reglamentario (Programa de Energía Eólica, 2018).

La Ley de Ordenamiento Territorial, N° 18.308, establece el marco regulador para la ordenación territorial bajo un modelo sostenible. Se encarga de definir las competencias e instrumentos utilizados en la planificación, además de orientar el proceso de ordenamiento territorial hacia el cumplimiento de objetivos de interés nacional (Programa de Energía Eólica, 2018).

En los casos anteriores, las leyes presentadas, hacen mayor hincapié en la conservación del medioambiente y en los impactos generados por estas infraestructuras. Sin embargo este no es el único aspecto a tener en cuenta a la hora de construir un parque eólico. El aspecto económico y la viabilidad en cuanto a la

rentabilidad del mismo es otro de los puntos a tener en cuenta antes de tomar la decisión de la construcción de un parque eólico.

Además de Leyes y Decretos, existen una serie de planes que también enmarcan el contexto normativo energético, y en este caso eólico. En este caso el plan al que se hace referencia es el “Plan de Energías Renovables 2011-2020” ya que la energía eólica es una energía renovable.

“El objetivo mínimo obligatorio del 20% para la participación de las energías renovables en el consumo final bruto de energía en España, fijado en la Directiva 2009/28 CE de energías renovables y recogido en el ordenamiento jurídico español mediante la Ley de Economía Sostenible, es una condición de contorno fundamental para el establecimiento del objetivo que se propone en este Plan de Energías Renovables 2011-2020” (Plan de Energías Renovables 2011-2020).

Los planes normativos y la legislación vigente en el ámbito nacional tienen un marcado carácter ambiental, en el que el desarrollo sostenible, la cumplimentación de objetivos y la conservación del medio ambiente tienen un papel protagonista.

### **2.3.2 Normativa vigente para Cantabria**

En la comunidad cántabra, el marco legal al que se ha ajustado el estudio desarrollado en el trabajo fin de máster se corresponde con el Boletín Oficial del Estado para la Comunidad Autónoma de Cantabria, de fecha miércoles 18 de diciembre de 2013, concretamente Ley de Cantabria 7/2013, de 25 de noviembre, por la que se regula el aprovechamiento eólico en la Comunidad Autónoma de Cantabria. (B.O.C. nº 234 de 05/12/2013), que se cita textualmente a continuación.

Algunos de los conceptos que define dicho documento y que pueden ser de utilidad en el presente estudio son los siguientes:

- “Parque eólico: la instalación de producción de electricidad a partir de energía eólica, constituida por uno o varios aerogeneradores interconectados eléctricamente entre sí con líneas propias, que comparten una misma estructura de accesos y control, con medición de energía propia, así como con la obra civil necesaria, incluyendo la subestación del parque y sus viales interiores. Se considerarán viales interiores los que comunican las distintas instalaciones del parque eólico” (BOE, 2013: 3).
- “Aerogenerador: el conjunto mecánico instalado en un parque eólico compuesto esencialmente de zapata, torre, palas y góndola que transforma la energía eólica en energía eléctrica mediante rotores de palas que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hacen girar un generador convirtiendo la energía mecánica rotacional en energía eléctrica” (BOE, 2013: 3).
- “Accesos al parque: conjunto de caminos de nueva ejecución y las partes modificadas de aquellos existentes que son adaptados para permitir la construcción y/o mantenimiento del parque. Dichos accesos finalizarán necesariamente en el encuentro con cualquier instalación de las definidas en el apartado a) de este artículo, a excepción de los viales interiores, que comenzarán en dicho punto” (BOE, 2013: 3).

Dentro de las legislaciones y regulaciones que se tienen en cuenta en este tipo de infraestructuras están las relacionadas con la protección de la fauna y de la flora del ecosistema en el que se va a localizar el parque eólico, ya que está comprobado que la mortalidad, sobre todo de murciélagos y de aves, se ve incrementada de manera notable tras la instalación del parque eólico.

Para la regulación de los espacios protegidos con el fin de conservarlos y preservarlos, en Cantabria se dispone de la Ley de Cantabria 4/2006 de Conservación de la Naturaleza de Cantabria. Esta ley tiene por objeto “el establecimiento de normas de protección, conservación, restauración y mejora de los hábitats naturales, la flora y fauna silvestres, los elementos geomorfológicos y paleontológicos, y el paisaje de

Cantabria, así como sus procesos ecológicos fundamentales” (Ley 4/2006, de Conservación de la Naturaleza de Cantabria).

Uno de los artículos de los que dispone este documento es el de los usos, clasificándolos en permitidos, autorizables y prohibidos, siendo el uso eólico uno de los prohibidos por atentar contra la protección y la conservación.

“Artículo 33. Usos y actividades prohibidas. Se consideran usos y actividades prohibidas todas aquellas que sean incompatibles con las finalidades de protección del espacio natural y supongan un peligro actual o potencial, directo o indirecto, para el espacio natural o cualesquiera de sus elementos o valores, y como tales se establezcan en los correspondientes instrumentos de planeamiento.” (Ley 4/2006, de Conservación de la Naturaleza de Cantabria).

Entre los aspectos tratados en la normativa cántabra destacan algunos como la regulación de actividades, para la protección del medio ambiente, como se muestra en el Plan de Sostenibilidad Energética de Cantabria 2014-2020.

Artículo 32 Protección del medio ambiente:

- “De conformidad con el Tratado de la Comunidad Europea el planeamiento municipal asumirá como objetivo prioritario la protección del medio ambiente, su conservación y mejora, prestando especial atención a la utilización racional de los recursos, el abastecimiento y la depuración de residuos” (Plan de Sostenibilidad Energética de Cantabria 2014-2020, 2014).
- “Las construcciones habrán de observar las exigencias de protección del medio ambiente establecidas en la legislación sectorial y los objetivos de los apartados anteriores que serán también de aplicación a las obras de rehabilitación, modernización o conservación de los inmuebles ya existentes y con el carácter de normas de aplicación directa.”(Plan de Sostenibilidad Energética de Cantabria 2014-2020, 2014).

Además de la protección del medio ambiente, la legislación cántabra vela por la rentabilidad económica. Para ello se busca la mayor calidad energética al menor precio, y eso pasa por un uso racional de la energía. “En cumplimiento del mandato

constitucional, la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, tiene como objeto la regulación de las actividades encaminadas al suministro a los consumidores de la energía eléctrica en sus diferentes fases de generación, transporte, distribución y comercialización, garantizando la calidad de dicho suministro y que éste se realice al menor coste posible, todo ello sin olvidar la consecución de otros objetivos, como son la mejora de la eficiencia energética, la reducción del consumo y la protección del medio ambiente” (Decreto 19/2009).

La potenciación eólica es otro de los objetivos que se plantea Cantabria, para ello se opta por localizar los nuevos equipamientos energéticos atendiendo a la disponibilidad geográfica y respetando las áreas protegidas. “Con el objeto de lograr el despegue de la energía eólica en la Comunidad, es necesario adoptar, tal y como se indica en el Plan Energético de Cantabria 2006-2011, aprobado por Decreto 81/2006, de 6 de julio), un conjunto de medidas que permitan la materialización del objetivo de potencia eólica a instalar, atendiendo a la disponibilidad geográfica del recurso eólico y a la existencia de zonas protegidas por motivos ambientales, paisajísticos o culturales existentes en la Comunidad Autónoma” (Decreto 19/2009).

#### **2.4 El papel de los SIG como herramienta para la toma de decisiones en localización de infraestructuras en el territorio.**

Los SIG forman parte de las geotecnologías, orientadas a facilitar las labores de diagnóstico y planificación espacial, claves en la toma de decisiones, tanto de carácter socioterritorial como ambiental. El avance de los SIG ha resultado fundamental en la elaboración de nuevas políticas y estrategias en lo relativo a la Ordenación del Territorio, tanto ambiental como sectorial. Los SIG dan facilidades para la resolución de problemas que impliquen análisis o decisiones sobre el territorio (Moreno, Buzai, Fuenzalida, 2013: 1).

Los SIG son las nuevas herramientas de trabajo en la planificación y gestión urbana. Mejoran el conocimiento de la realidad y facilitan la tarea de trabajo al espacializar, organizar y normalizar la información (Pueyo, 1991).

En este estudio es muy importante tener en cuenta el concepto de justicia o equidad espacial, esto es “modelos matemáticos de localización-asignación, que permiten buscar las localizaciones más adecuadas para minimizar costos de transporte (o riesgos a la población), a la vez que los distintos lugares geográficos no se ven muy desigualmente afectados.” (Bosque et al, 2000:5).

La localización de una infraestructura de estas características genera una serie de externalidades. Se encuentran dos tipos de equipamientos los deseables y los no deseables, en este estudio el parque eólico representa una externalidad negativa, y se encuadra dentro de los equipamientos no deseables, debido a los impactos que generan en el territorio. “Equipamientos no deseables, su existencia produce un efecto perjudicial en sus alrededores (externalidades negativas): vertederos de basuras, centrales nucleares, cárceles, etc.” (Bosque et al, 2000: 573).

El principal instrumento para la resolución de un problema de estas características es la evaluación multicriterio, método que se va a emplear para dar una posible solución al problema presentado en el estudio, la localización óptima de parques eólicos en la Comunidad Autónoma de Cantabria.

### **3. Fuentes estadísticas y cartográficas.**

La mayoría de fuentes empleadas en el TFM son digitales. Esto se debe en gran medida a la mayor accesibilidad y la gran cantidad de datos disponibles en un corto espacio de tiempo. Para el desarrollo del presente proyecto se han utilizado fuentes de distinto carácter, como son las de carácter estadístico y las de carácter cartográfico.

#### **3.1 Fuentes de carácter estadístico**

Las fuentes estadísticas que han sido utilizadas son los datos de viento y los datos de población de cada uno de los núcleos de población de Cantabria.

Los datos de viento han sido obtenidos a través de la Agencia Estatal de Meteorología, agencia de nivel nacional, cuyo objetivo principal es la prestación de servicios

meteorológicos competencia del Estado. Esta agencia fue creada en 2008, en sustitución del Instituto Nacional de Meteorología.

Para el estudio desarrollado, la localización idónea de un parque eólico en Cantabria, es vital una variable física, como es el viento, variable recogida en las estaciones de las que dispone AEMET repartidas por el territorio cántabro.

Los datos con los que se ha trabajado son las velocidades medias de vientos diarios y rosas de los vientos. Estos datos se obtuvieron para cada una de las estaciones de viento de las que dispone AEMET en Cantabria. El dato que se ha utilizado finalmente en el desarrollo del estudio ha sido la velocidad media, dato del que se disponía un valor mensual para cada una de las estaciones, y con los que se han realizado las medias de los últimos tres años; es decir, 2016, 2017 y 2018, con el fin de obtener la media anual.

Estos datos han sido adjuntados a los puntos de las estaciones meteorológicas introducidos en el proyecto SIG mediante las coordenadas geográficas.

### **3.2 Fuentes de carácter cartográfico**

Las fuentes de carácter cartográfico han sido obtenidas de varios organismos oficiales y han sido la base para la elaboración de las capas de implementación, básicas para la realización del análisis aquí propuesto. Las fuentes cartográficas utilizadas son las siguientes:

- Estaciones meteorológicas, obtenidos de AEMET generadas a partir de las coordenadas geográficas, en un sistema de referencia ETRS89, formato de tabla de datos. Una vez se tienen los datos unidos a las estaciones se ha procedido a realizar una interpolación espacial, para poder tener una malla completa de la velocidad media del viento en todo Cantabria.



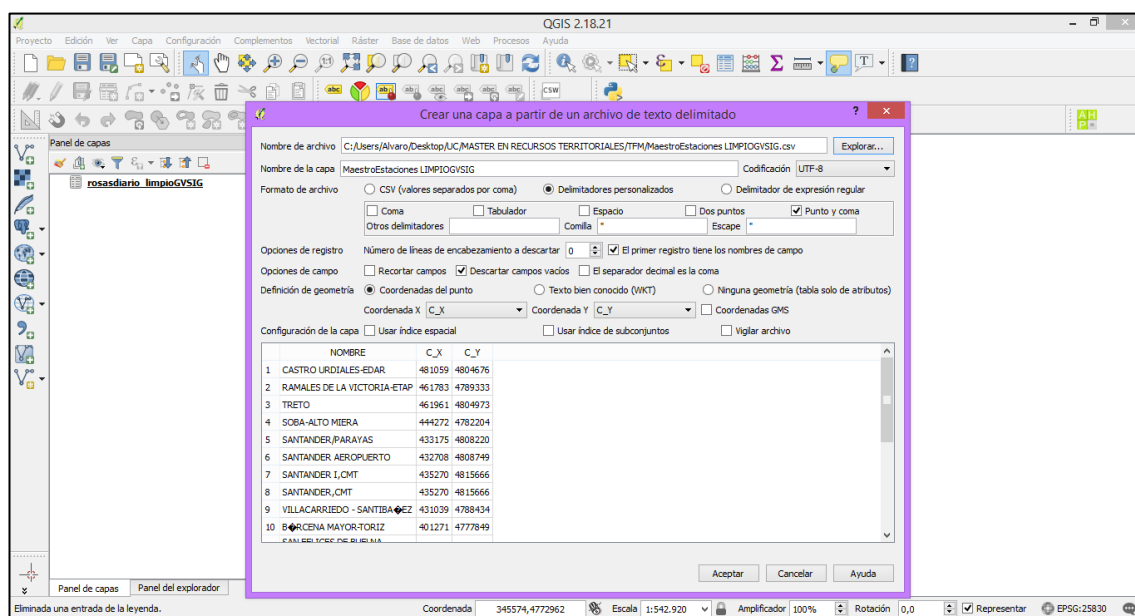
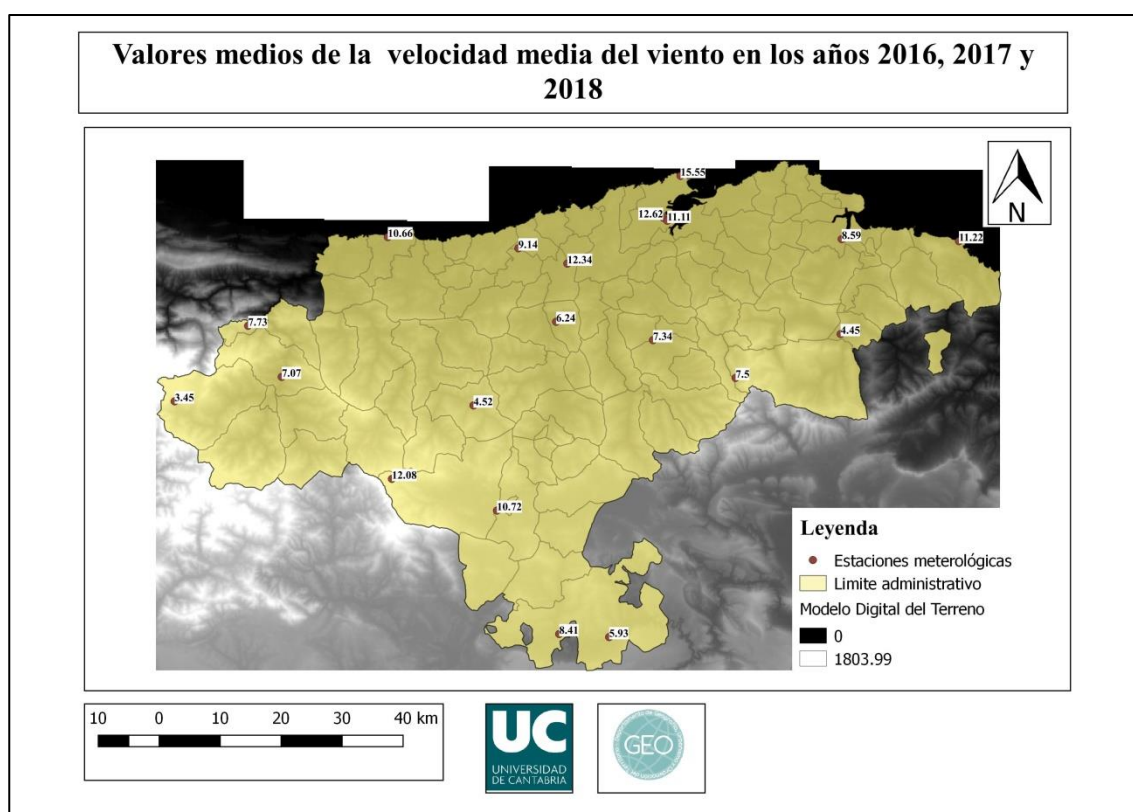


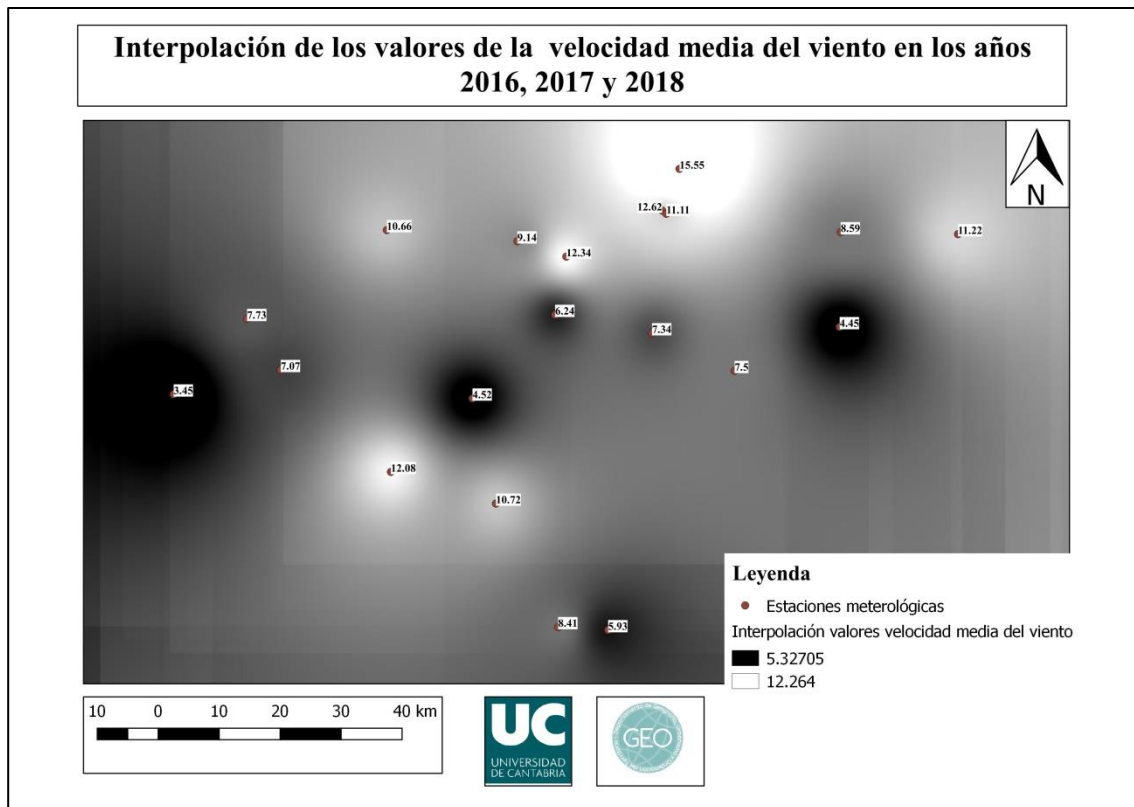
Figura 3.1: Capa de eventos de las estaciones meteorológicas.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 3.1: Valores medios de la velocidad media del viento.

Fuente: AEMET Datos de viento, Modelo Digital de Elevaciones cedido por Instituto Geográfico Nacional de España, Base Cartográfica Nacional 1:200.000 IGN. Elaboración propia.



Mapa 3.2: Interpolación de los valores de la velocidad media del viento.

Fuente: AEMET Datos de viento, Elaboración propia.

- BCN 200, obtenido del CNIG en un sistema de referencia ETRS89, del que se han obtenido las carreteras autonómicas, nacionales y las autovías, además de los puntos de población diseminados que llevan asociados la población, también se ha obtenido de las BCN 200 las líneas eléctricas, archivos .shp y vectorial.
- Corine Land Cover 2012, obtenido del CNIG en un sistema de referencia ETRS89, del que se han obtenido los usos de suelo de Cantabria, archivo .shp y en formato vectorial.
- Los datos de población han sido obtenidos del Centro Nacional de Descargas, a partir de la fuente “Nomenclátor Geográfico de Municipios y Entidades de Población”. En este producto se puede encontrar todos los datos de población de las entidades de población.

Estos organismos disponen de varios productos que son de interés para la realización de un estudio de estas características. La BCN 200 tiene varias capas que disponen de mucha información, además de una escala adecuada para el estudio de la comunidad autónoma, un aspecto siempre importante en estudios de este tipo, al combinar información de varios tipos, vías de comunicación, tendido eléctrico, núcleos de población dispersos y núcleos de población urbanos facilita mucho el trabajo, además cuenta en su tabla de atributos con el dato de la población, muy relevante también en el presente proyecto. La red de Espacios Naturales Protegidos tiene una gran importancia en el proyecto, una infraestructura de este carácter no puede construirse en un lugar que atente contra la conservación y la protección del medioambiente.

- La red de Espacios Naturales Protegidos, obtenida del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) en un sistema de referencia ETRS89, del que se ha obtenido la red de ENP de todo España, en formato .shp y vectorial.
- También se han utilizado las capas del PNOA y el MDT obtenidas en la web Territorio Cantabria, para poder trabajar con ellas como base y obtener por ejemplo la capa pendientes en base al MDT, con formato imagen y raster respectivamente.

#### **4. Metodología**

En el siguiente apartado se explica la metodología del trabajo, las fases del mismo, los métodos utilizados, las herramientas aplicadas, como los sistemas de información geográfica así como cada una de las aplicaciones empleadas en ellos. Además del proceso en sí mismo desde las lecturas iniciales hasta la obtención de las áreas óptimas para la instalación de parques eólicos en Cantabria, fin último del trabajo.

#### 4.1. Metodología general

El estudio que aquí se desarrolla se lleva a cabo mediante un proceso que posee varias fases, y que en su conjunto forma la metodología general.

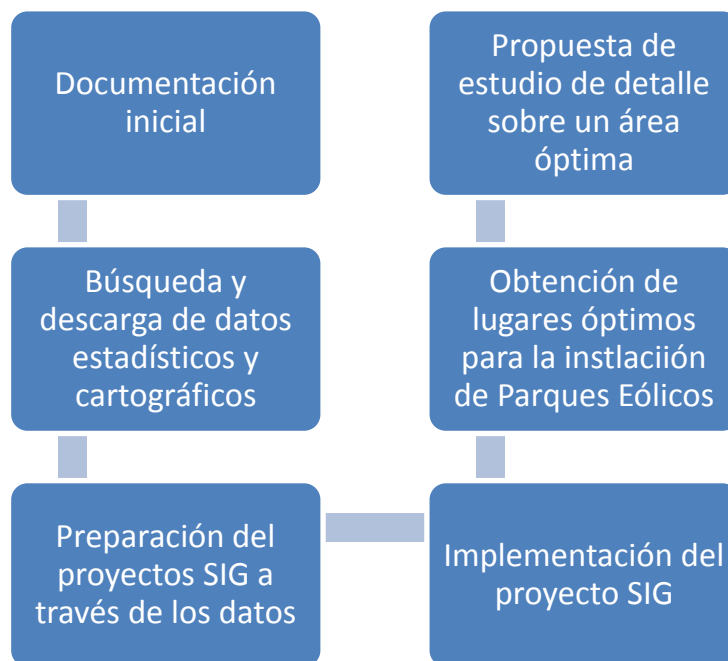


Figura 4.1: Procesos de obtención de los resultados.

Fuente: Elaboración propia.

El estudio arranca con la documentación sobre el ámbito y la temática objeto de estudio, lectura de artículos, normativa reguladora de los espacios, en este caso parques eólicos, y planes eólicos propuestos de otras comunidades, entre otros. El objetivo de las primeras lecturas es obtener una base de conocimientos del campo energético y más concretamente eólico que permita enfocar y desarrollar el proyecto de la manera adecuada. En esta primera fase documentación se conoce el contexto energético actual en España, los impactos que generan estas infraestructuras, los requisitos necesarios para la instalación o la legislación que rige los parques eólicos.

Una vez se conoce la situación actual y se tiene una base de conocimientos sobre energía y el apartado eólico en España y Cantabria, se procede a la obtención de datos y descarga de los mismos. Para este estudio los datos han sido de carácter cartográfico en su mayoría, obtenidos de organismos oficiales del Estado, como son el IGN o MAPAMA, pero también se han obtenido datos de carácter estadístico cedidos por la

Agencia Estatal de Meteorología. Estos datos son la base para la siguiente fase del proyecto.

Una vez obtenidos los datos y habiendo realizado las lecturas correspondientes, comienza la siguiente fase del proyecto donde se implementa la información de carácter cartográfico a través del Sistema de Información Geográfica, mediante tres programas: ArcGIS, QGIS y GVSIG. Una vez ha sido desarrollado el proyecto SIG se da paso a la siguiente fase, en la que se analizan los resultados obtenidos, para la obtención de esos resultados finales que se proceden a analizar se ha utilizado la Evaluación Multicriterio.

#### **4.2. Metodología del proyecto SIG**

La creación de un proyecto SIG necesita de una planificación previa organizada por etapas. La metodología empleada será determinante en la calidad de los datos, y en definitiva de los resultados, a este proceso de planificación y organización por fases se conoce como el ciclo de vida de un proyecto SIG (Becker, 1995). El ciclo de vida de un proyecto SIG cuenta con varias etapas desde la creación hasta su puesta en finalización y puesta funcionamiento. Pese a parecer fases de carácter secuencial, cabe señalar que una fase no comienza exactamente con la terminación de la anterior, algunas pueden superponerse. Es muy importante que exista una retroalimentación entre etapas sucesivas (Ciampagna, 2000).

El diseño lógico es vital en el desarrollo de un proyecto SIG. A continuación la Figura 4.2 presenta un organigrama con cada una de las herramientas aplicadas a cada una de las capas.

Para llevar a cabo las diferentes operaciones cabe destacar la utilización de diferentes softwares como ArcGis, QGIS y GVSIG.

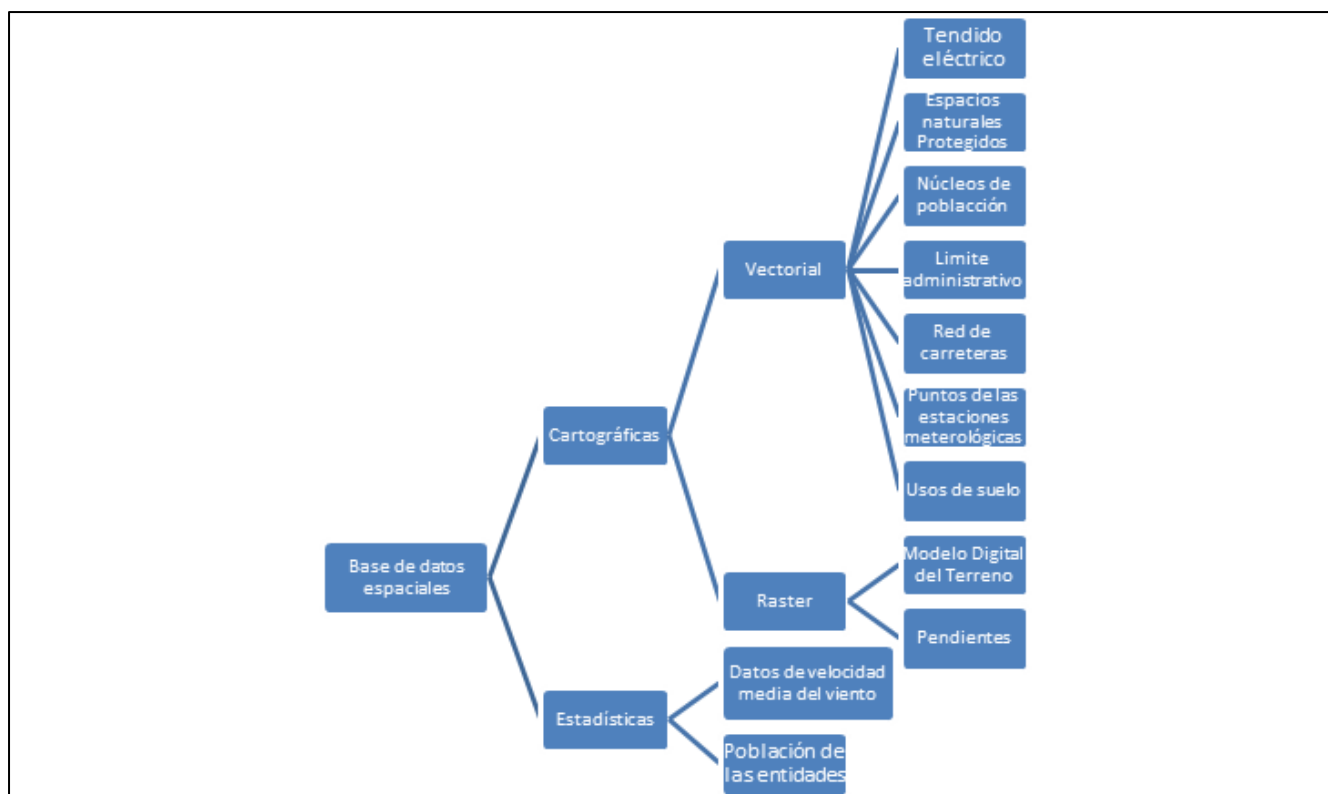


Figura 4.2: Clasificación de elementos recogidos de distintas fuentes.

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Metodología de la Evaluación Multicriterio

La evaluación multicriterio está orientada a la toma de decisiones espaciales. Es un conjunto de técnicas multidimensionales utilizadas para la evaluación de una serie de alternativas que satisfacen uno o varios objetivos a la luz de varios criterios (Gómez y Delgado, 2008).

Para el ámbito en el que se desarrolla este estudio, se ha optado por la evaluación multicriterio debido a que el resultado de esta técnica es objetivo, aunque sí que es verdad, que a la hora de aplicar y decidir los criterios que condicionarán el resultado final hay una cierta subjetividad. No obstante, el resultado final se desconoce hasta una vez ha sido puesta en marcha la herramienta.

Para desarrollar la técnica del multicriterio es necesario establecer una serie de criterios, que sean clasificados en factores y en restricciones, para el estudio realizado. Los criterios elegidos se muestran a continuación:

**Factores:** Son aquellos criterios que aumentan o disminuyen la valoración de una alternativa cómo solución al problema. Estos factores pueden ser de carácter cuantitativo.

- Pendiente, factor físico de vital importancia en la configuración del Parque Eólico. Cuanto menor sea la pendiente en la que se realice la obra mejor será su accesibilidad, y menor será el coste añadido para la mejora de esta (Parque Eólico Sierra de Zalama. Estudio de impacto ambiental. Documento 1, 2017).

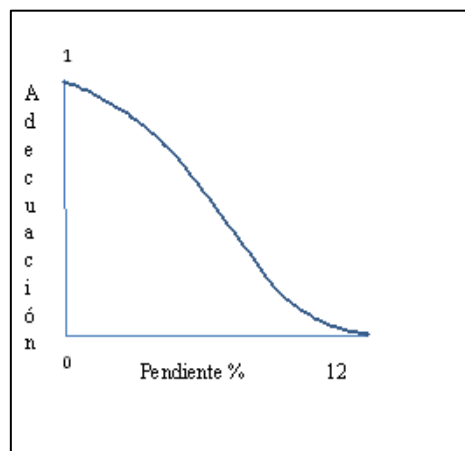


Figura 4.3: Función de pertenencia difusa del factor pendiente.

Fuente: Elaboración propia.

- Distancia a los núcleos de población, al igual que en el caso de las vías de comunicación, la legislación fija un umbral mínima de 500 metros de distancia entre las infraestructuras de este tipo y los núcleos de población. Por lo que cuanto más alejado de los núcleos de población mejor será la localización del Parque (Estrategia ambiental para el aprovechamiento de la energía eólica en Cantabria, 2017).

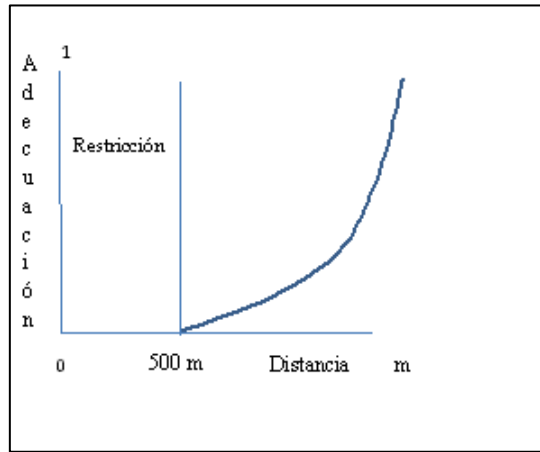


Figura 4.4: Función de pertenencia difusa del factor distancia a los núcleos de población.

Fuente: Elaboración propia

- Emplazamiento lejos de los núcleos con mayor densidad de población, relacionado con el factor humano, la mejor localización de esa infraestructura será en aquellas áreas con menor densidad de población, con la finalidad de afectar a la menor población posible. De ahí la selección de las áreas escasamente pobladas como óptimas para el emplazamiento del Parque Eólico (Estrategia ambiental para el aprovechamiento de la energía eólica en Cantabria, 2017).

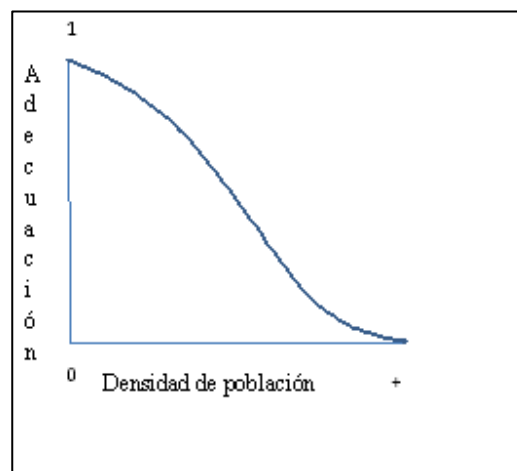


Figura 4.5: Función de pertenencia difusa del factor emplazamiento en núcleos con menor densidad de población.

Fuente: Elaboración propia.



- Cercanía al tendido eléctrico, debido a la necesidad de transporte y de transformación de la energía obtenida en los aerogeneradores es necesario la disponibilidad de infraestructuras auxiliares que puedan paliar ambas necesidades, de ahí que cuanto más cerca se localice el parque de a estas infraestructuras mejor (Emplazamiento de parques eólicos onshore para la producción de energía eléctrica, 2017).

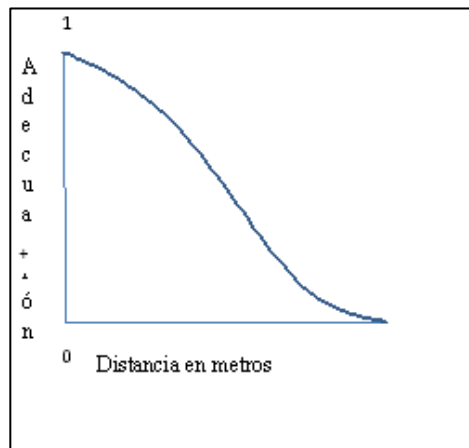


Figura 4.6 Función de pertenencia difusa del factor cercanía al tendido eléctrico propio.

Fuente: Elaboración propia.

- Distancia a las vías de comunicación, una vez superado el umbral mínimo fijado en 120 metros a las vías de comunicación, como son las carreteras, comarcales, nacionales y autovías, se entiende que cuanto más lejos se localice la infraestructura de las vías de comunicación mejor, con el fin de reducir el impacto visual que se tenga del parque desde las vías. (Emplazamiento de parques eólicos onshore para la producción de energía eléctrica, 2017).

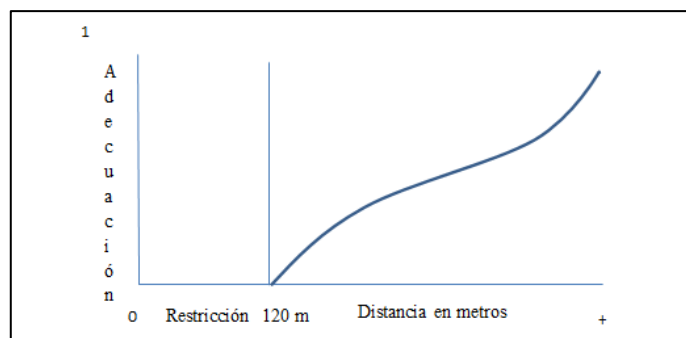


Figura 4.7: Función de pertenencia difusa del factor cercanía a las vías de comunicación.

Fuente: Elaboración propia.

- Velocidad media anual del viento.
  - Para la construcción de un parque eólico, el viento es un factor indispensable, de ahí que cuanto mayor sea la velocidad media anual del viento, mayor será la rentabilidad económica del parque, que es otro de los aspectos a tener en cuenta para decidir la ubicación de una infraestructura de estas características.

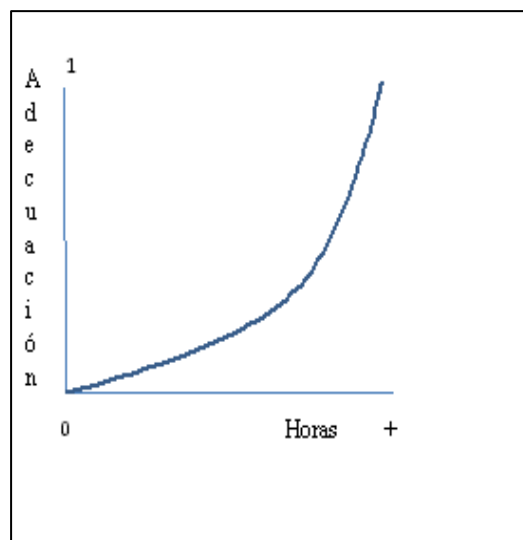


Figura 4.8: Función de pertenencia difusa del factor velocidad media anual del viento.  
Fuente: Elaboración propia.

**Restricciones:** Son los criterios que determinan alternativas como válidas o como no válidas. Son de carácter cuantitativo y anulan ciertos puntos del territorio para la ubicación final del objetivo. Para el modelo aquí presentado las restricciones son cinco.

- Masas de agua, exclusión de las masas de agua, debida principalmente al apartado de la obra civil, por el que se excluirán las masas de agua (Estrategia ambiental para el aprovechamiento de la energía eólica en Cantabria, 2017).
- Áreas protegidas, debido a la Ley de Cantabria 4/2006 se establecen una serie de áreas protegidas que por su definición son incompatibles con el uso eólico (Ley de Cantabria 4/2006, de 19 de mayo, de Conservación de la Naturaleza de Cantabria). Estas zonas protegidas excluidas corresponden a: ENP, ZEPA, zonas húmedas convenio Ramsar, áreas boscosas con especies arbóreas relevantes, áreas propuestas dentro de la Red Natura 2000 y espacios en los que los instrumentos de Ordenación del Territorio otorgan una especial protección, y por ellos la actividad eólica resulta incompatible.
- Núcleos de población (tejido urbano continuo y discontinuo), resulta inviable la instalación de una infraestructura de estas características dentro de un núcleo de población, (Estrategia ambiental para el aprovechamiento de la energía eólica en Cantabria, 2017).
- Distancia mínima a los núcleos, debido a la normativa vigente, la localización de Parques Eólicos no es posible a menos de 500 metros de zonas urbanas (Estrategia ambiental para el aprovechamiento de la energía eólica en Cantabria, 2017).
- Distancia mínima de las vías de comunicación, mínimo de 120 metros de distancia de vías de comunicación, debido a la normativa vigente, es necesario un corredor de 120 metros de seguridad en torno a las vías de comunicación (Emplazamiento de parques eólicos onshore para la producción de energía eléctrica, 2017).

Se han tenido en cuenta tanto criterios de carácter físico o natural como de carácter humano, ya que para el emplazamiento de una infraestructura de estas dimensiones y características son necesarios de ambas dimensiones, con el fin de que tanto desde el

punto de vista territorial como desde el punto de vista humano y social produzca el menor impacto posible y no perjudique a la población de las áreas circundantes.

Las herramientas SIG dan la posibilidad de obtener las áreas idóneas para las instalaciones de parques eólicos. Es la máxima del proyecto; sin embargo, hasta llegar a ese resultado final, es necesaria la realización y el seguimiento de una serie de pasos y procesos previos. Una vez han sido guardadas y nombradas las capas se procede a cargarlas en el software elegido, se inician una serie de procesos con ellas, en primer lugar hay que definir el Sistema de Referencia del proyecto, que es 25830 EPSG (European Petroleum Survey Group). EPSG corresponde al organismo que estuvo formado por especialistas en geodesia, topografía y cartografía aplicadas al área de explotación y desarrolló un repositorio de parámetros geodésicos que contiene información sobre sistemas (marcos) de referencia antiguos y modernos (geocéntricos), proyecciones cartográficas y elipsoides de todo el mundo (Alonso, 2016).

Una vez ha sido definido el sistema de referencia, y debido a la diferente procedencia de las capas, se ha utilizado la función “reproyectar” para que todas las capas se encuentren en el mismo sistema de referencia. Una vez reproyectadas se puede empezar a trabajar con las mismas, el primero de los pasos del multicriterio es el de la preparación de las capas por separado, ya que en este método los factores y las restricciones son tratados de manera diferente.

Para el caso de las restricciones, al ser condicionantes binarios si / no es necesario una reclasificación de los ráster en mapas binarios del mismo carácter 0 – 1, en los que el 0 equivale al que no se permite y el 1 al que se permite. Una vez obtenidos todos los mapas binarios de cada una de las restricciones se procede a una multiplicación de los mismos, para obtener una sola capa de restricciones, que se volverá a utilizar al finalizar el procedimiento.

En el caso de los factores, cada uno tiene un tratamiento individualizado, para su generación mediante SIG.

Una vez han sido tratadas todas las capas, que representan cada uno de los criterios que han sido planteados anteriormente, el proyecto avanza, se incorpora la que quizá sea una de las herramientas más importantes en este estudio, “Fuzzify”, que permite la obtención de una capa ráster de cada uno de los factores estandarizados a difusos que han sido seleccionados en el método multicriterio.

Cada factor y cada restricción tiene asociada una capa, esta capa será introducida en la función difusa mediante “fuzzify” (en el caso de los factores), que dará el resultado final, de los lugares más adecuados para el emplazamiento de la infraestructura.

Una vez se obtienen los “fuzzy” de cada uno de los factores, comienza la última fase de la Evaluación Multicriterio, para ello es necesario disponer del complemento Easy AHP de QGIS, esta herramienta cruza cada uno de los factores en una tabla de filas y columnas, en los que el autor va eligiendo en cada uno de los cruces que se producen entre los factores cuál de los dos es más importante. La ponderación de importancia es la siguiente.

- Cuando el valor es 1, significa que la importancia entre ambos factores es considerada idéntica.
- Cuando el valor está situado entre 2-9 el factor considerado como importante es el situado en la fila.
- Y cuando el valor está comprendido desde  $1/2$  hasta  $1/9$ , el factor considerado de mayor importancia es el que se encuentra en la columna.

Esta selección de valores, quizá sea la parte más subjetiva del proyecto, ya que cada técnico puede dar valores diferentes para el mismo conjunto de factores.

Una vez se han otorgado estos valores, se procede a ejecutar la aplicación, cuyo resultado son una serie de valores de mucha importancia para el proyecto.

Estos valores que aparecen se llaman pesos, y son determinantes para el cálculo final de la evaluación multicriterio. Los pesos para este estudio, en tantos por uno, son los siguientes:

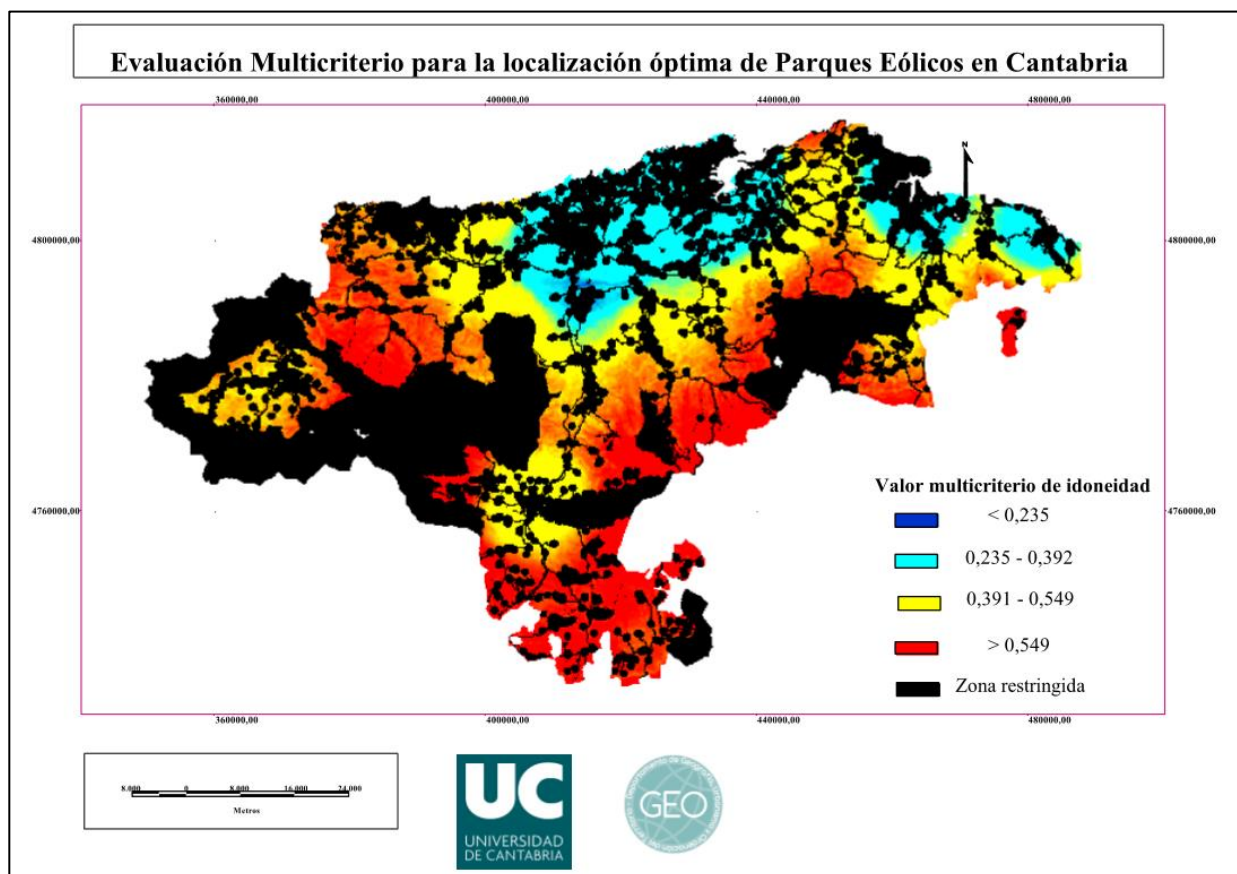
- Distancia al tendido eléctrico 0,048
- Distancia a la autovía 0,049
- Distancia a la nacional 0,048
- Distancia a la autonómica 0,052
- Densidad de población 0,311
- Pendiente 0,018
- Velocidad media del viento 0,132
- Distancia a los núcleos de población 0,242

Con estos valores se procede al último paso de la Evaluación Multicriterio, Para poder obtener una salida cartográfica con la Evaluación Multicriterio es necesario integrartoda la información cartográfica, para ello se procede del siguiente modo:

- Se inicia la aplicación calculadora ráster.
- Se introduce una multiplicación, tal que  $[(\text{Fuzzy\_viento} * 0,048) + (\text{Fuzzy\_tendido} * 0,049) \dots] * [\text{capa\_restricciones}]$
- Se obtiene una malla ráster de adecuación gradual de 0 a 1 siendo 1 el óptimo, las áreas ideales y 0 las áreas inviables.

## 5. Análisis de los resultados de la Evaluación Multicriterio

En el Mapa 5.1, se muestra el resultado de la Evaluación Multicriterio para la instalación óptima de Parques Eólicos en Cantabria.



Mapa 5.1: Resultado Evaluación Multicriterio para la instalación óptima de Parques Eólicos en Cantabria.

Fuente: AEMET Datos de viento mensuales, INE Nomenclátor 2017, Base Topográfica Nacional 1:200.000 Instituto Geográfico Nacional. Elaboración propia.

En la salida cartográfica se observa un mapa de idoneidad para la instalación de este tipo de infraestructuras. Los factores aplicados han sido de carácter humano y físico. El resultado se muestra en cinco categorías de 0 a 0,63 que en este caso es el lugar más idóneo para la instalación de un parque eólico.

La valoración que se le da a cada una de estas categorías se basa en el método de rupturas naturales (natural breaks) en el que hasta 0,235 no se recomienda la

instalación, ya que las condiciones no son lo suficientemente buenas y muchos de los factores no se ven representados de una manera positiva.

Entre 0,235 y 0,392 la adecuación es media, viéndose de manera positiva varios de los factores empleados en la evaluación.

Desde 0,392 y 0,63 se considera óptima la localización de un parque eólico. Cabe reseñar que pese a que en el modelo teórico la adecuación es desde 0 hasta el 1, en el modelo obtenido el máximo es 0,63. Este valor máximo de 0,63 por debajo del 1 teórico se debe a la dificultad de que todas las características necesarias para emplazar un parque eólico sean idóneas al 100% en un mismo lugar.

Por otro lado, las zonas restringidas son aquellas que por motivos legislativos no está permitido la instalación. Los espacios naturales protegidos, espacios pertenecientes a la Red Natura 2000 o los corredores desde vías de comunicación y núcleos de población componen estas áreas restringidas.

En el resultado puede verse como la influencia de los núcleos y de la población tiene un gran peso. Las zonas de peor aptitud para la instalación de la infraestructura se localizan en el corredor Santander – Torrelavega, la costa oriental y en el área cercana a Reinosa, precisamente las áreas de mayor población y concentración de entidades de población de la comunidad cántabra.

El sector norte central y oriental está marcado precisamente por esa tónica urbana, con grandes densidades de población y muchos núcleos de población. Además del aspecto humano, cabe destacar la condición costera. Son múltiples las figuras de protección y conservación del medioambiente que convive en el sector norte central y oriental (LIC, ZEPA, humedales), lo que hace que esa mancha negra de áreas restringidas condicione los espacios aptos para la localización de un parque eólico. Es precisamente esta área donde se encuentran los valores más bajos de adecuación.

El oeste está marcado por las áreas protegidas, con la presencia del Parque Nacional de Picos de Europa, quedando las posibilidades de emplazamiento anuladas. No obstante, en aquellos espacios libres de restricción el oeste se postula como un área óptima de emplazamiento: Tanto la densidad de entidades como de población es

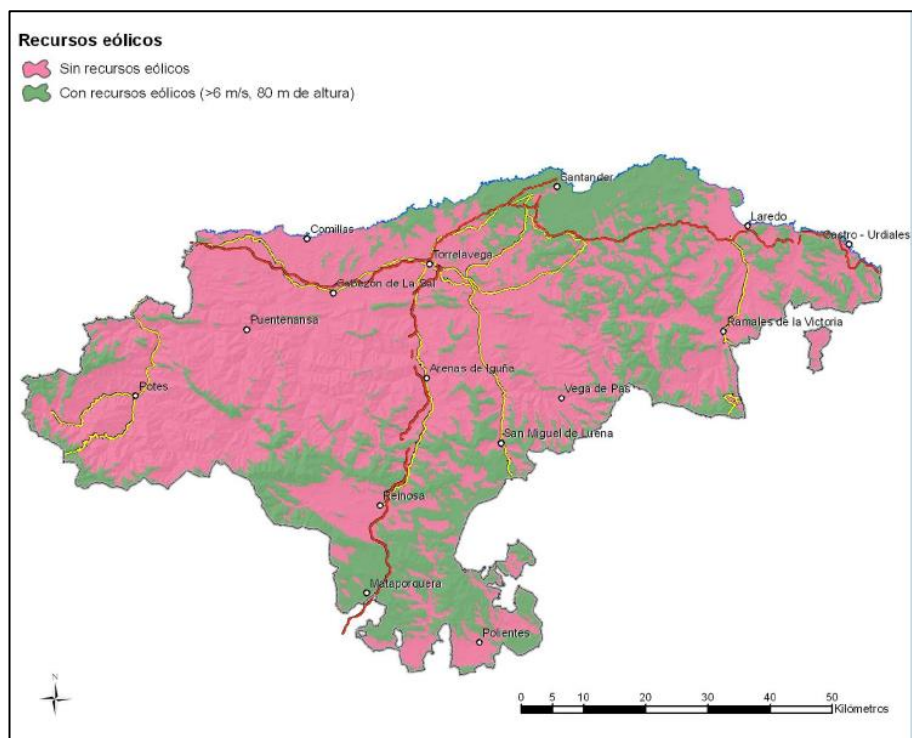


menor que en otros puntos y su cierta elevación en comparación con el resto de la comunidad hace que el viento sea mayor que en otros puntos, por lo que podría ser un buen lugar para la localización de un parque eólico si cumple los criterios de impacto paisajístico. Dentro de este sector oeste se encuentra Val de San Vicente. Municipio con unas condiciones óptimas para la instalación de un parque eólico. Su condición costera favorece la presencia habitual de viento, además de rebajada presión demográfica hace que sea un lugar adecuado.

El sector sur y sureste, a excepción de Reinoso, es donde se encuentran los valores más próximos al máximo de 0,63. Se podría establecer una comparación con el oeste, son áreas de montaña con características similares. Sin embargo, la presencia de áreas protegidas es menor, por lo que queda mucho más territorio disponible apto para el emplazamiento. La lejanía de grandes núcleos de población, la escasa densidad y las condiciones de viento favorables hacen del sector sur, y de la comarca del Asón los emplazamientos ideales para la construcción de un parque eólico en Cantabria.

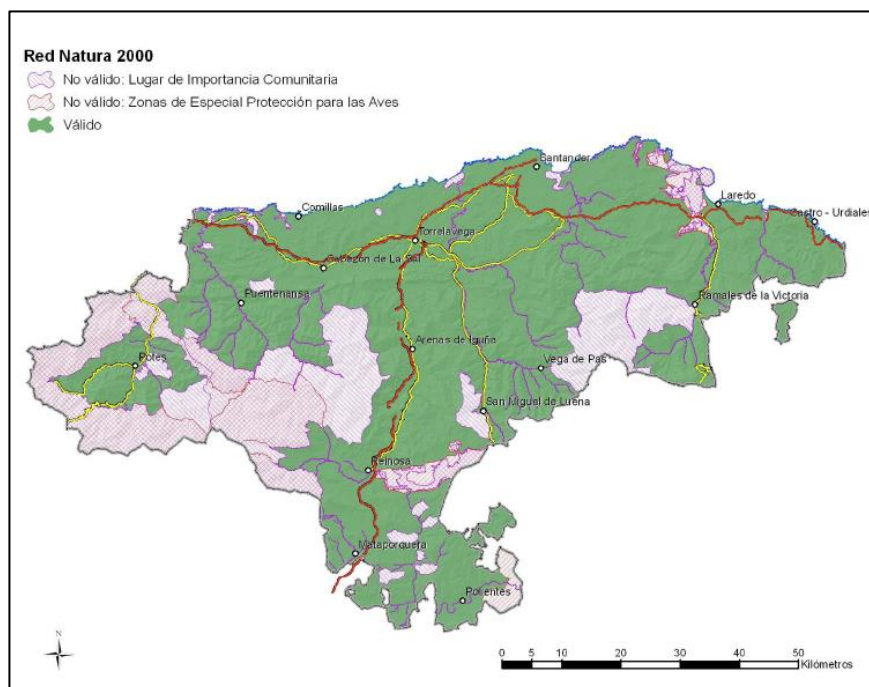
De hecho, muchos de los proyectos promovidos para la instalación de parques eólicos son precisamente en este sector. Algunos de ellos son el parque eólico de la Sierra de Zalama, los tres parques eólicos de los Valles Pasiegos, el parque eólico de San Pedro del Romeral, entre otros proyectos. Cabe destacar también que los parques eólicos ya en funcionamiento como son el de Vestas y el de Cañoneras I y II están localizados precisamente en esta área.

Si tomamos en comparación el modelo generado con el Plan Eólico de Cantabria, la primera de las diferencias es el método utilizado para la localización de los parques eólicos. En el Plan Eólico la metodología empleada es la superposición de capas, mientras que en el TFM se propone una Evaluación Multicriterio. Este método permite aunar de forma simultánea varios factores, permite graduar la adecuación y otorga a cada uno de ellos un peso ponderado en función de la importancia que tenga en la realidad para el técnico que lleva a cabo el estudio; sin embargo en la superposición lógica no se tienen en cuenta estos valores y pesos, por lo que el resultado es considerablemente diferente de un método a otro.



Mapa 5.2: Recursos eólicos.

Fuente: Estrategia Ambiental para el aprovechamiento de la energía eólica en Cantabria: 8.



Mapa 5.3: Espacios de la Red Natura 2000.

Fuente: Estrategia Ambiental para el aprovechamiento de la energía eólica en Cantabria: 26.

Se observa en los Mapas 5.2 y 5.3 los recursos eólicos y la Red Natura 2000. Ambos tienen un tratamiento individualizado, es decir, no aparecen combinados en la misma salida. Este proceso es repetido con otros factores como áreas de interés patrimonial, vías de comunicación, etc.

En el Mapa 5.1 se muestra el resultado, este es la combinación de todos los factores tenidos en cuenta durante el proceso. Mientras que en el Plan Eólico de Cantabria los factores se aíslan e individualizan. Por lo que se puede concluir con que la evaluación multicriterio es un método mucho más adecuado para la aplicación al estudio. No obstante, al compartir algunos de los criterios en ambos modelos también se encuentran áreas aptas en ambos modelos, como son los espacios pertenecientes a la Red Natura 2000.

Además de las diferencias metodológicas, también hay diferencias en los resultados obtenidos. Las áreas aptas para la acogida de un parque eólico entre el modelo propuesto en este TFM y el Plan Eólico de Cantabria son diferentes, llegándose a encontrar áreas que son aptas en un modelo y que en el otro no lo son.

En referencia al Mapa 5.2, en el que se muestran los recursos eólicos, si solo se atendiera a este factor, el área de Cantabria apto para la localización de un parque eólico se vería muy reducido además muy influenciado por el factor costero. Siendo el área costera precisamente el menos apto en el modelo aquí presentado debido a la mayor presencia de núcleos y de densidad de población.

Se observa cierta similitud con el mapa 5.3 de recursos eólicos, las áreas validadas tienen un componente costero, enfrentándose con la problemática demográfica.

Se puede observar como la mayoría de criterios empleados en el Plan Eólico de Cantabria tienden a emplazar los parques eólicos en el sector costero. Esto se debe a un tema de rentabilidad y viabilidad económica, siendo el viento un factor indispensable el área con mejores condiciones eólicas es la costa.

Se encuentra una gran diferencia en cuanto a las áreas aptas para la localización de un parque eólico. En el modelo aquí presentado el factor humano tiene mayor importancia que los factores económicos; de ahí que el sector costero, el más

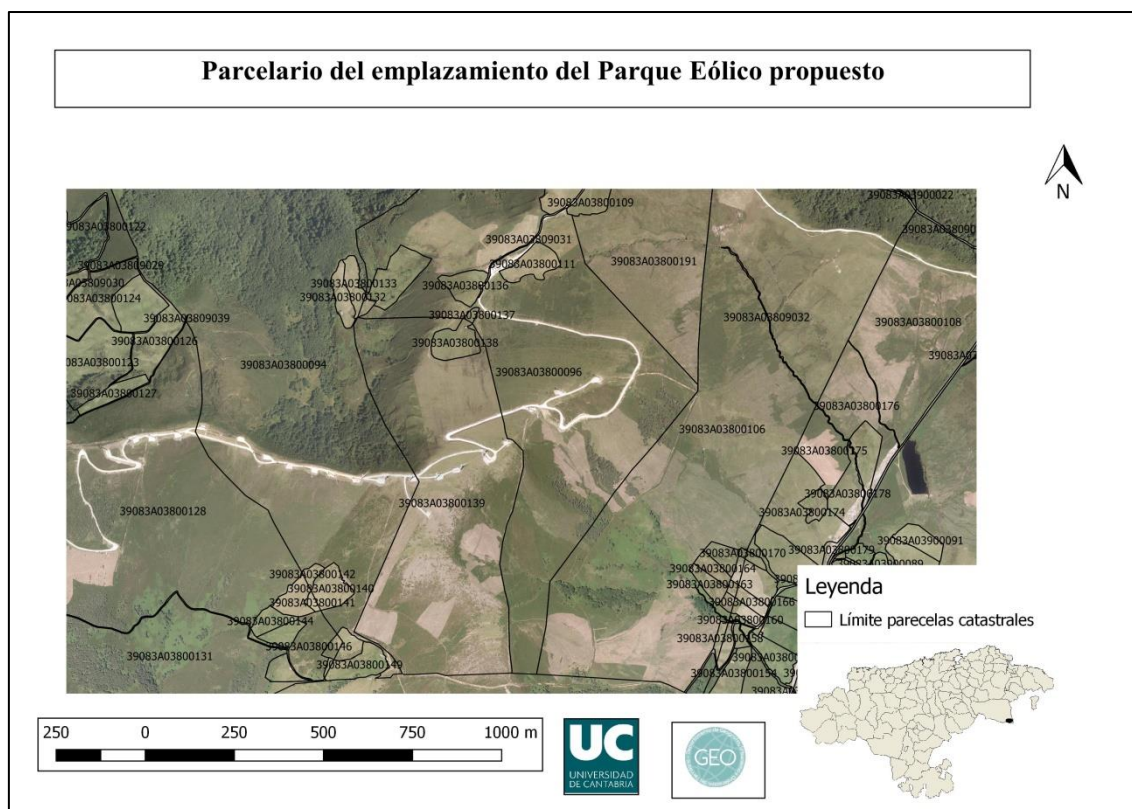
densamente poblado junto con el corredor Santander – Torrelavega, sean las zonas menos aptas para la instalación de la infraestructura.

El modelo presentado tiende más a zonas interiores y de alta montaña como pueden ser Campoo, Liébana o el Alto Asón, áreas escasamente pobladas y con núcleos de carácter disperso en los que no se encuentran grandes densidades de población.

## 6. Posibilidades de los SIG para la realización de un estudio de detalle.

Este estudio tiene un carácter multiescalar, de ahí la necesidad de incluir un estudio pormenorizado de un área óptimo para la instalación de un parque eólico. La escala de detalle es mucho más precisa en este caso, siendo 1:10.000.

En este caso se ha elegido el área sureste de Cantabria, perteneciente al municipio de Soba, municipio que cuenta con otros parques eólicos en funcionamiento. Emplazado en Llana del Cuerno, cercano al Puerto de los Tornos y al límite provincial con Castilla y León, es uno de los lugares idóneos. A continuación se muestra el mapa de situación y el parcelario del área seleccionada, mapa 6.1.



## Mapa 6.1: Parcelario.

Fuente: Ortofoto PNOA 2014 Instituto Geográfico Nacional de España, Catastro. Elaboración propia.

El mapa 6.1 muestra la configuración del parcelario en este sector de la comunidad. Se puede apreciar como en tónica general se tratan de grandes parcelas, lo que facilitaría la implantación de una infraestructura de grandes dimensiones.

La instalación se realiza sobre una única parcela. En la figura 6.1 se muestra la ficha catastral de la parcela en la que se emplaza el parque eólico. La parcela dispone de una extensión de 808.604 m<sup>2</sup>, está clasificada como suelo rústico y tiene un uso principal agrario.

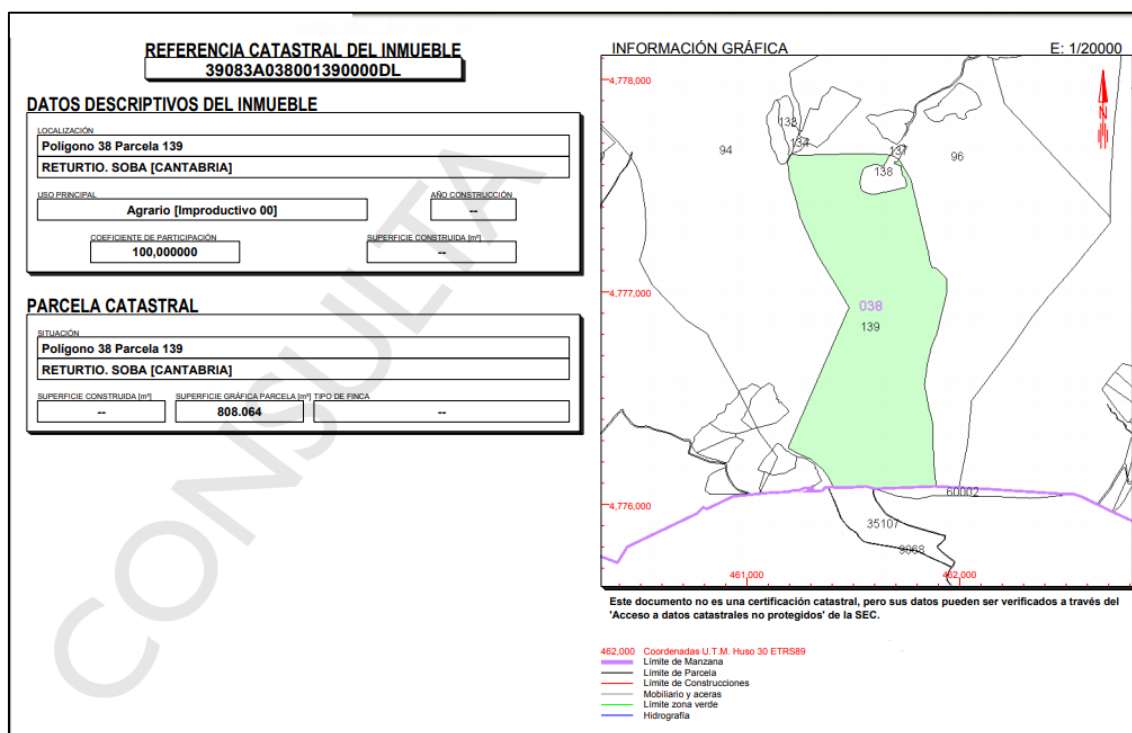


Figura 6.1: Parcela seleccionada para el emplazamiento del parque eólico.

Fuente: Catastro, 2018

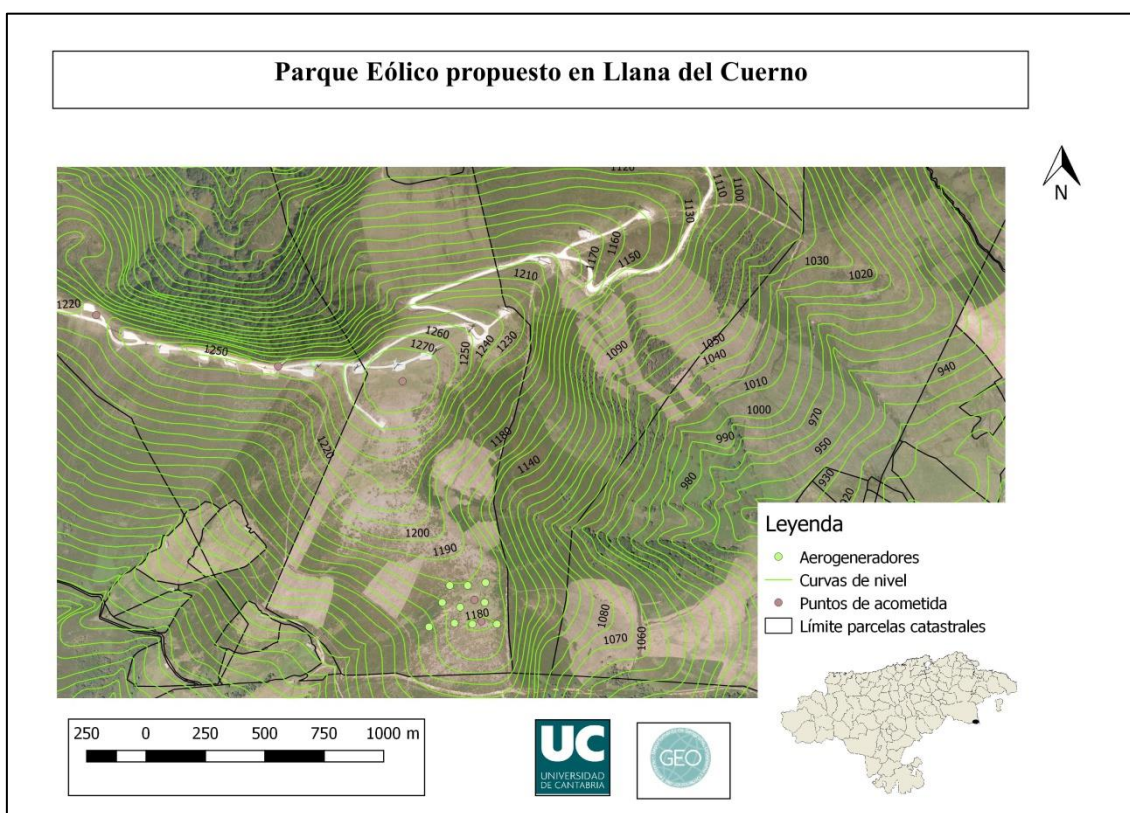
Este espacio aúna características favorables. La inexistencia de espacios naturales protegidos, de entidades de población o de vías de comunicación hace de éste un espacio libre para la actuación. Derivado de la ausencia de entidades de población la densidad de población es muy escasa, otro de los criterios de peso en la instalación de un parque eólico.



En cuanto al apartado físico, el emplazamiento se encuentra a una altura de 1.150 – 1.170 metros de altitud. Pese a no ser un factor determinante condiciona la presencia de viento, criterio de mucha importancia a la hora de construir un parque eólico. Cabe destacar que la rentabilidad económica es un aspecto importante a tener en cuenta.

Pese a ser una zona de elevada altitud y con grandes desniveles, el área seleccionada es de escasa pendiente, de entre el 0-10%, lo que facilita la obra civil y la accesibilidad al parque en caso de ser necesario para cualquier tipo de problema.

En el mapa 6.2 se muestra la propuesta de parque eólico del estudio. Dentro del área seleccionada para la instalación del parque eólico se encuentran dos puntos de acometida, un aspecto importante a la hora de tener en cuenta el transporte de la energía obtenida de los eolos. Estos son la derivación desde la red de distribución de la empresa suministradora hacia la protección principal o medidor de energía de la edificación o propiedad donde se hará uso de la energía eléctrica. La instalación propuesta cuenta con 10 aerogeneradores.



## Mapa 6.2: Parque Eólico propuesto.

Fuente: Base Cartográfica Nacional 1:5.000 Ortofoto PNOA 2014 Instituto Geográfico Nacional de España, Catastro. Elaboración propia.

Entre las posibilidades que ofrecen los SIG está la de realizar un estudio de carácter multiescalar, como el aquí presentado. El estudio se ha ceñido a una escala autonómica como es Cantabria, y en este apartado se ha analizado un pequeño área. El estudio pormenorizado del territorio permite una mayor precisión en la localización de la infraestructura. El potencial de estudio y de análisis del territorio de los SIG hace que puedan ser una herramienta crucial en la Ordenación del Territorio.

## 7. Conclusiones

Este TFM trataba de localizar los emplazamientos idóneos para la instalación de un parque eólico generando la menor afección posible tanto al territorio como a la población. Este objetivo se desarrolla bajo un entorno SIG. Del objetivo principal subyace uno secundario, la realización de un estudio de carácter multiescalar, pasando de la escala provincial a la escala local. Por lo que se ha pretendido recrear un parque eólico en una de las áreas más favorables para su instalación, y al mismo tiempo mostrar la potencialidad de los Sistemas de Información Geográfica en la toma de decisiones en materia de Ordenación del Territorio.

Para este estudio se ha aplicado el método de la Evaluación Multicriterio, que no se había aplicado hasta el momento para el emplazamiento de un parque eólico. Para la obtención de un resultado real es necesario el seguimiento de una exhaustiva metodología. Un apartado muy importante de este estudio es la documentación previa. La formación del geógrafo en el entorno energético es escasa; no obstante he contado con la codirección del Doctor Francisco Javier Balbás, lo que me ha ayudado mucho a entender varios conceptos clave para el desarrollo del estudio. Este TFM no solo se basa en lo energético y en lo eólico, sino que también tiene un gran peso el aspecto social, demográfico y ambiental, materias en las que un geógrafo sí que puede desenvolverse con cierta facilidad, y que por otro lado son fundamentales en la decisión de emplazar un parque eólico.

Haciendo balance de los resultados obtenidos he observado una destacada diferencia entre la Evaluación Multicriterio aquí realizada y la superposición lógica propuesta en el Plan Eólico. La diferencia de los resultados tiene su base en las diferentes metodologías aplicadas en cada uno de los casos. Mientras que en la superposición lógica ningún criterio tiene más peso que otro, todos son tratados de igual manera, en el Evaluación Multicriterio el técnico decide cuales son los factores y las restricciones que va a emplear, y tras seguir una metodología muy precisa se tiene como resultado una malla de adecuación objetiva, ya que el técnico no puede diseñar el resultado.

Se observan “dos cantabrias”, la poblada y la vacía. Estos espacios se corresponden con la costa y con el interior respectivamente. En el sector costero el emplazamiento de un parque eólico es prácticamente imposible, las figuras de protección y conservación del medio ambiente, la estricta normativa y las grandes densidades tanto de población como de núcleos e infraestructuras apenas dejan espacios libres de actuación para la instalación de una infraestructura de estas dimensiones. Sin embargo, en la Cantabria vacía las condiciones son totalmente diferentes. La lejanía de la costa, la escasa densidad de población y de núcleos y en definitiva la escasa presión demográfica sobre el territorio hacen que según el modelo diseñado, los lugares óptimos para la localización de un parque eólico se sitúen en el sector central y sur de la comunidad.

Todas estas características se aúnan en el sector donde se ha elegido situar el proyecto de parque eólico, Soba, uno de los municipios con menor densidad de población de la comunidad en donde los espacios libres son abundantes y las afecciones tanto al territorio como a la población son escasas.

Este estudio podría haberse desarrollado de una manera más extensa, aumentando las escalas de detalle así como los criterios en la Evaluación Multicriterio, dando lugar a un estudio de área mucho más exhaustivo y real.

Este TFM podría incluirse dentro de alguno de los articulados de un Estudio de Impacto Ambiental, que era otra de las vías en las que se podía haber enmarcado el estudio.



## 8. Bibliografía

Atienza, J. C., Fierro, I. M., & Infante, O. (2011). Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos.

Balbás García, F. J. (2016). Perspectivas y posibles escenarios de las renovables en el sistema eléctrico español.

Barredo, J.I. (1996). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Madrid: Ra-Ma.

BOE, J. E. F. A. T. U. R. A. (2006). LEY 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.

BOE, B. O. Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.

Bosque Sendra, J.; Gómez Delgado, M. y Palm Rojas, F. (2006). Un nuevo modelo para localizar instalaciones no deseables: ventajas derivadas de la integración de modelos de localización-asignación y SIG. Cuadernos Geográficos, vol. 39, nº 2, pp. 53-68. Consultado en febrero de 2015 en: <http://www.redalyc.org/pdf/171/17103904.pdf>

Bosque, J., & Moreno, A. (2007). Localización-asignación y justicia-equidad espacial con Sistemas de Información Geográfica. In Memorias. XI Conferencia Iberoamericana de SIG (pp. 95-115).

Campos, A. P. (1991). El sistema de información geográfica: un instrumento para la planificación y gestión urbana. Geographica, (28), 175-192.

Díaz Cuevas, M. D. P., Pita López, M. F., Fernández Tabales, A., & Limones Rodríguez, N. (2017). Energía eólica y territorio en Andalucía: diseño y aplicación de un modelo de potencialidad para la implantación de parques eólicos.

Díaz-Cuevas, P., & Pita López, M. F. (2015). Evaluación y caracterización de las zonas incompatibles con la implantación eólica en Andalucía mediante la aplicación de un modelo locacional con Sistemas de Información Geográfica y Técnicas de Evaluación Multicriterio. *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*, 581-590.

Galdos Urrutia, R., & Madrid Ruiz, F. J. (2009). La energía eólica en España y su contribución al desarrollo rural.

Gómez Delgado, M., Cano, B., & Ignaciocoaut, J. (2006). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio (No. 910.285 G65).

Gómez Puente, M. (2010). Derecho y políticas ambientales en Cantabria.

Hedo, E. B. (2015). Decreto 6/2015, de 30 de enero, por el que se aprueba el Reglamento que regula la instalación y explotación de los Parques Eólicos en Canarias. (BOCAN núm. 29, de 12 de febrero de 2015). *Actualidad Jurídica Ambiental*, (44), 38-39.

Ignateva, M. F., & Pérez, B. P. (2008). El desarrollo de las energías renovables y el paisaje: algunas bases para la implementación de la Convención Europea del Paisaje en la política energética española. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 43(2), 289-310.

Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. *Boletín Oficial del Estado*, nº 296, de 11 de diciembre de 2013.

Marín, C. E., & Marín, R. G. (2012). La energía eólica en la producción de electricidad en España. *Revista de Geografía Norte Grande*, (51), 115-136.

Obando Chaparro, M. F. (2017). Identificación del lugar óptimo de instalación de un parque eólico en el departamento del Atlántico.

Preciado, J. M. S. (1997). El planteamiento teórico multiobjetivo/multicriterio y su aplicación a la resolución de problemas medioambientales y territoriales, mediante los SIG Raster. *Espacio Tiempo y Forma. Serie VI, Geografía*, (10).

Rivarola, A., Arena, P., & Berrios, G. COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO VISUAL APLICADOS A PARQUES EÓLICOS.

Sendra, J. B. (2001). PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL TERRITORIO. De los SIG a los Sistemas de ayuda a la decisión espacial (SADE). *El Campo de las Ciencias y las Artes*, (138), 137-174.

Sendra, J. B., Delgado, M. G., Jiménez, A. M., & Dal Pozzo, F. (2000). Hacia un sistema de ayuda la decisión espacial para la localización de equipamientos. *Estudios geográficos*, 61, 567.

Sevilla-Jiménez, M., Golf Laville, E., & Driha, O. M. (2013). Las energías renovables en España.

Tsoutsos, T., Gouskos, Z., Karterakis, S., & Peroulaki, E. (2006, February). Aesthetic impact from wind parks. In *European Wind Energy Conference EWEC*.

Valpreda, C. (2007). Sistema de Información Geográfica (SIG)-teledetección y evaluación multicriterio (EMC) en un estudio de evaluación de impacto ambiental (EIA). In *Memorias XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica* (pp. 29-31).

Vázquez Corral, H. (2017). Diseño e instalación del parque eólico “Cañoneras”.

## 9. Índice de figuras, mapas y tablas

### Figuras

Figura 1.1 Objetivos del estudio.	4
Figura 2.1 Mix Eléctrico de España.	8
Figura 3.1 Capa de eventos estaciones meteorológicas.	17

Figura 4.1 procesos de obtención.	19
Figura 4.2 Clasificación de elementos recogidos de distintas fuentes	21
Figura 4.3 Función de pertenencia difusa del factor “pendiente”.	23
Figura 4.4 Función de pertenencia difusa del factor “distancia a los núcleos de población”.	24
Figura 4.5 Función de pertenencia difusa del factor “emplazamiento en núcleos con menor densidad de población.	24
Figura 4.6 Función de pertenencia difusa del factor “cercanía al tendido eléctrico”.	25
Figura 4.7 Función de pertenencia difusa del factor “cercanía vías de comunicación”.	25
Figura 4.8 Función de pertenencia difusa del factor “velocidad media anual del viento”.	26
Figura 6.1 Parcela seleccionada para el emplazamiento del parque eólico.	38
<b>Mapas</b>	
Mapa 2.1 Parques Eólicos vigentes en Cantabria.	9
Mapa 3.1 Valores medios de la velocidad media del viento.	17
Mapa 3.2 Interpolación de los valores de la velocidad media del viento.	18
Mapa 5.1 Evaluación Multicriterio.	31
Mapa 5.2 Recursos Eólicos.	34
Mapa 5.3 Espacios Red Natura 2000.	35
Mapa 6.1 Parcelario.	37
Mapa 6.2 Parque Eólico propuesto	38